



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA VOLUNTÁRIA – PICVOL

**GEOLOGIA-GEOMORFOLOGIA DA PRAIA DE PONTA DE PEDRAS,
LITORAL NORTE DE PERNAMBUCO**

**Comportamento da linha de costa e dos bancos transversais na Praia
de Ponta de Pedras, Norte de PE**

Área do conhecimento: Ciências Exatas e da Terra

Subárea do conhecimento: Oceanografia

Especialidade do conhecimento: Oceanografia Geológica

Relatório Final

Período da bolsa: de agosto de 2019 a julho de 2020

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica

PICVOL

Orientador: Ana Cláudia da Silva Andrade
Coorientador: Luciana Vieira de Jesus

Autor: Eduardo Afonso Nunes Nascimento



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

SUMÁRIO

- 1. Introdução**
- 2. Objetivos**
- 3. Metodologia**
- 4. Resultados e discussões**
- 5. Conclusões**
- 6. Perspectivas**
- 7. Referências bibliográficas**
- 8. Outras atividades**

1. Introdução

A variação na posição da linha de costa é causada tanto pela atuação de processos naturais (ondas, marés, correntes, nível do mar), quanto por ação antrópica (MUEHE, 2006). Em linhas de costa bordejadas por depósitos sedimentares inconsolidados (e.g. bancos transversais e dunas) e/ou em desembocaduras fluviais, essas mudanças podem ser mais rápidas, a depender do aporte sedimentar. Nesse sentido, se o balanço sedimentar for negativo, positivo ou nulo, a linha de costa irá recuar (erosão), progradar (acrecção) ou se manter estável (equilíbrio), respectivamente (MUEHE, 2006).

O mapeamento da linha de costa e da ocupação humana em imagens de satélite de diferentes datas permite o monitoramento dos avanços e recuos da linha de costa, assim como do crescimento da ocupação humana, possibilitando a identificação das áreas de risco à erosão costeira (MAZZER, 2009). Segundo Dal Cin e Simeoni (1994), o risco ocorre somente quando se tem ocupação humana.

Para quantificar a variação da linha de costa, muitos trabalhos têm utilizado a extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) do programa ArcGis (THIELER *et al.*, 2009; DEWIDAR, 2011; MARINO; FREIRE, 2013). O DSAS utiliza métodos estatísticos, tais como a regressão linear (*linear regression* – LRR) e a taxa de ponto final (*end point rate* - EPR), que realizam os cálculos das taxas de avanço e recuo da linha de costa, expressas em metros por ano (m/ano). Essa extensão calcula também o envelope de variação da linha de costa (*shoreline change envelope* – SCE), ou seja, a distância (em metros) entre a linha de costa que mais recuou e aquela que mais avançou no sentido do oceano (THIELER *et al.*, 2009).

A utilização de uma serie temporal de dados entre 10 e 60 anos de intervalo é considerada de médio prazo, e abaixo de 10 anos como de curto prazo (CROWELL, 1993). Luijendijk *et al.* (2018) propuseram uma classificação para o comportamento da linha de costa: deposição, estabilidade e quatro categorias de erosão. Trabalhos que quantificaram a variação da linha de costa mostram que os maiores valores de recuo estão associados às desembocaduras fluviais, elevação do nível do mar, e os menores valores a costões rochosos e falésias (MUEHE, 2006).

A linha de costa do município de Goiana, litoral norte de Pernambuco, está situada entre as desembocaduras dos rios Itapessoca à sul e Goiana à norte. No geral a zona costeira de Pernambuco é caracterizada por regime de meso-maré dominada por ondas, os ventos têm direção preferencial E-SE durante o inverno e E-NE durante o verão (GOIS, 2011). O sentido do transporte longitudinal de sedimentos nessa região é de SW para NE. Bancos transversais, que são bancos de areia em ângulo normal ou oblíquo com a linha de costa em praias de moderada a baixa energia de ondas (NIEDORODA; TANNER, 1968) ocorrem com frequência no litoral de Goiana. Ao longo do litoral, essas barras estão em constante movimento, por vezes próximo à linha de costa, outrora mais distante. O mapeamento desses bancos pode ser feito utilizando series temporais de imagens de satélite, de forma que seja possível acompanhar a movimentação das feições durante um determinado espaço de tempo. Além de acompanhar o movimento dos bancos é possível identificar diferentes grupos de acordo com o ângulo que fazem com a linha de costa.

Este plano de trabalho foi vinculado ao projeto de doutoramento de Luciana Vieira de Jesus, intitulado “Dinâmica sedimentar associada à movimentação de bancos transversais na praia de Ponta de Pedras, litoral norte de Pernambuco”, em realização na UFPE desde 2017, sob orientação do dr. Pedro de Souza Pereira.

2. Objetivos

O objetivo deste trabalho foi analisar as variações na configuração da linha de costa e dos bancos transversais no período de 2007 a 2017 na praia de Ponta de Pedras, no município de Goiana, Pernambuco (Figura 1). Os objetivos específicos incluíram:

- Identificar as variações no posicionamento da linha de costa e dos bancos transversais no período de 2007 a 2017.
- Determinar a movimentação dos bancos transversais no período de 2007 a 2017.
- Calcular a taxa de variação da linha de costa no período de 2007 a 2017.
- Classificar o comportamento da linha de costa no período de 2007 a 2017 como erosão, estabilidade ou deposição.

O município de Goiana tem cerca de 15 km de extensão de linha de costa, que é caracterizada pela ocorrência de corais submersos da formação Maria Farinha. A deriva litorânea de sedimentos tem direção SW-NE e predomina o regime de meso-marés dominadas por ondas.

A área foi subdividida em 3 Setores: Setor A (Praia de Barra de Catuama) localizado a sul, Setor B (Praia de Ponta de Pedras), onde ficam localizados os calcários submersos rasos e o Setor C (Praia de Carne de Vaca) mais a norte, onde são encontradas diversas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa favorecendo o acúmulo de sedimentos.

3. Metodologia

3.1 Levantamento bibliográfico e leitura de artigos científicos

Esta etapa consistiu na busca e leitura de artigos científicos sobre feições morfológicas da praia, linha de costa, erosão costeira, métodos de quantificação da variação da linha de costa e dos bancos transversais. A bibliografia foi obtida no portal de periódicos da CAPES, no *Google Acadêmico*, no acervo do Laboratório de Geologia Costeira e Ambiental (LACMA), entre outros.

3.2 Mapeamento da linha de costa e dos bancos transversais utilizando imagens de satélite multitemporais (2007, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017) do *Google Earth Pro* e da *RapidEye*

As imagens de satélite utilizadas foram dos anos 2007, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016 e 2017 do *Google Earth Pro* e da *RapidEye* (Tabela 1). Essas imagens foram georreferenciadas no programa ArcGis 10.2. no Datum Sirgas 2000, zona 25S.

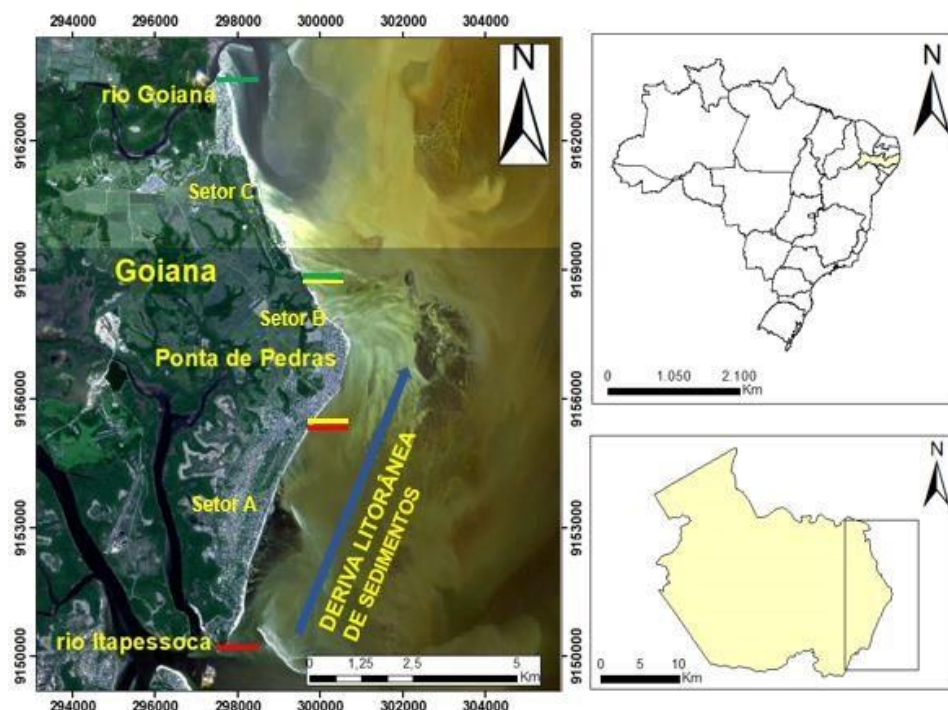


Figura 1: Localização da área de estudo: praia Ponta das Pedras, município de Goiana, Pernambuco. As letras A, B e C indicam os setores investigados. O setor A está delimitado por retas vermelhas o setor B por retas amarelas e o setor C por retas verdes. Fonte da imagem: Imagens de *RapidEye* disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente para uso nas pesquisas do LACMA.

Tabela 1: Imagens de satélite utilizadas para o mapeamento da linha de costa e das barras transversais na área de estudo.

DATA (DIA/MÊS/ANO)	RESOLUÇÃO	ÓRGÃO EXECUTOR	OBSERVAÇÃO
01/10/2011 25/12/2012 26/05/2014	6,5 m (nadir) e 5 m para ortoimagens	<i>RapidEye</i>	Imagens disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente para uso do LACMA
19/10/2007 16/11/2010 11/05/2015 30/12/2016 20/04/2017	30 m	<i>Landsat-7</i>	Imagens capturadas do <i>Google Earth Pro</i>

A tabela 2 mostra a altura da maré no horário de imageamento de cada satélite, além de mostrar o tipo de maré (sizígia ou quadratura) de acordo com o dia da captura das imagens.

A linha de costa considerada nesse trabalho foi o limite areia seca – areia úmida (BIRD, 2008). O mapeamento da linha de costa e dos bancos transversais foi realizado no ArcGis 10.2 digitalizando as linhas de costa e contornando os bancos transversais nos diferentes anos.

Na extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) do ArcGIS 10.2, foram criadas três linhas de base (*baseline*) e 101 transectos, com espaçamento de 150 metros entre si. Esse procedimento foi necessário para a obtenção dos parâmetros estatísticos descritos a seguir (itens 3.3 e 3.4.).

Adicionalmente, foi observado a dinâmica da linha de costa e o movimento dos bancos transversais no *Google App Engine*. Essa ferramenta tem uma série multitemporal de imagens de satélite, de 1984 a 2018, que permite visualizar o movimento conjunto dos bancos transversais e da linha de costa.

Tabela 2: Dados das imagens de satélite (tipo de imagem, data, hora, altura e tipo de maré na hora do imageamento). Os dados de maré foram obtidos em DHN (2007, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015).

SATÉLITE	DATA	HORA	ALTURA DA MARÉ (m)	TIPO DE MARÉ
Landsat-7	19/10/2007	10:00 a 12:00*	1,6 / 1,6	Quadratura
Landsat-7	16/11/2010	10:00 a 12:00*	1 / 1,7	Quadratura
RapidEye	01/10/2011	11:00	0,7	Quadratura
RapidEye	25/12/2012	11:00	1,0	Quadratura
RapidEye	26/05/2014	11:00	1,2	Quadratura
Landsat-7	11/05/2015	10:00 a 12:00*	1,9 / 1,6	Quadratura
Landsat-7	30/12/2016	10:00 a 12:00*	0,8 / 0,4	Sizígia
Landsat-7	20/04/2017	10:00 a 12:00*	1,6 / 1,6	Quadratura

* Intervalo de hora provável do imageamento.

3.3 Determinação do envelope das variações da linha de costa utilizando a extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) do ArcGIS 10.2

O envelope de variação da linha de costa (SCE), dado em metros, consiste na distância entre a linha de costa mais distante e a mais próxima da linha de base, ou seja, na distância entre a linha de costa que mais recuou e mais avançou (THIELER et al., 2009). Esse parâmetro foi fornecido com o uso da extensão DSAS.

3.4 Determinação da taxa de variação da linha de costa utilizando a extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) do ArcGIS 10.2 pelos métodos *End Point Rate* (EPR) e *Regressão Linear* (LRR):

O método EPR utiliza em seu cálculo apenas as linhas de costa mais recente e a mais antiga, ou seja, a distância entre essas linhas de costa dividida pelo tempo. A regressão linear utiliza os dados de todas as linhas de costa mapeadas, criando uma linha de tendência (THIELER et al., 2009). As taxas de variação da linha de costa, pelos dois métodos acima mencionados, foram obtidas no DSAS do ArcGIS 10.2.

3.5 Confeção no program ArcGIS 10.2 do mapa de comportamento da linha de costa com a identificação dos trechos em erosão, acreção e estabilidade

O mapa do comportamento da linha de costa é uma representação cartográfica utilizada com intuito de facilitar a visualização dos dados. Os dados de taxas de variação da linha de costa obtidos nesse trabalho pela regressão linear foram utilizados para classificar o comportamento da linha de costa de acordo com Luijendijk *et al.* (2018) em: acreção ($> +0,5\text{m/ano}$), estabilidade ($+0,5$ a $-0,5\text{m/ano}$), erosão (-1 a $-0,5\text{m/ano}$), erosão intensa (-3 a -1m/ano), erosão severa (-5 a -3m/ano) e erosão extrema ($<-5\text{m/ano}$). (erosão, acreção ou estabilidade).

3.6 Integração e interpretação dos dados

A análise qualitativa do movimento dos bancos e da linha de costa foi feita por meio da ferramenta *Google Earth Engine* que permite a visualização dinâmica de imagens de satélite de 1984 a 2018 em *Timelapse*. Os demais dados obtidos nas etapas anteriores foram integrados e interpretados. Por fim, foi elaborado esse relatório final do PIBIC 2019-2020.

4. Resultados e discussões

4.1. Variação e comportamento da linha de costa no período de 2007 a 2017

Apesar de serem dados estatísticos diferentes os resultados das taxas de variação da linha de costa obtidos pelos métodos estatísticos EPR e LRR mostraram que em curto prazo predominou erosão nos setores A e B e acreção no setor C, os resultados de LRR e EPR serem iguais é comum em diversos trabalhos.

A tabela 3 mostra o percentual do comportamento da linha de costa em cada setor investigado em negrito são apresentados a soma dos valores de acreção e estabilidade e o somatório dos valores de todas as classes de erosão.

Tabela 3: Percentual do comportamento da linha de costa, baseado na classificação de Luijendijk *et.al.* (2018), para os três setores investigados.

Setores	Acreção ($> +0,5\text{m/ano}$)	Estabilidade ($0,5$ a $-0,5\text{m/ano}$)	Erosão ($-0,5$ a -1m/ano)	Erosão intensa (-1 a -3m/ano)	Erosão severa (-3 a -5m/ano)	Erosão extrema ($>-5\text{m/ano}$)
A	16.2 %	27.0 %	18.9 %	27.0 %	5.4 %	5.4 %
	Total: 43.2 %		Total: 56.7 %			
B	27.6 %	3.5 %	6.9 %	44.8 %	10.3 %	6.9 %
	Total: 31.1		Total: 68.9 %			
C	51.4 %	11.4 %	8.6 %	20.0 %	2.9 %	5.7 %
	Total: 62,8		Total: 37.2			

4.2. Envelope de variação da linha de costa (SCE)

Os resultados obtidos do envelope de variação da linha de costa (SCE) evidenciaram que ocorreu uma maior variação da linha de costa no setor C (59 m) seguido pelo setor B e A com 35 m e 29 m, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4: Envelope de variação da linha de costa (SCE) nos setores A, B e C.

Setores	SCE (m)
A	29
B	35
C	59

4.3. Linha de costa e bancos transversais no período de 2007 a 2017

As barras transversais estão dispostas formando ângulo com a linha de costa. Foi constatado que existem, pelo menos 4 grupos diferentes: grupo 1: com ângulos $< 20^\circ$, grupo 2 com ângulos $20 - 45^\circ$, grupo 3 com ângulos $45 - 70^\circ$ e grupo 4 com ângulos $> 70^\circ$. A maior parte das barras estão presentes no grupo 2. O grupo 1 predomina no setor B, o grupo 3 e 4 no setor A e o grupo 2 no setor C. A mudança de ângulo é causada por dois fatores, a morfologia da costa do município em forma de cone, no setor A tem orientação NE-SW no setor C de NW-SE e no setor B o ponto de inflexão. Além desse fator os calcários submersos no setor B causam uma inflexão nos bancos transversais e esses fatores permitem a ocorrência do grupo 4 ($> 70^\circ$) no setor B (Figura 2).

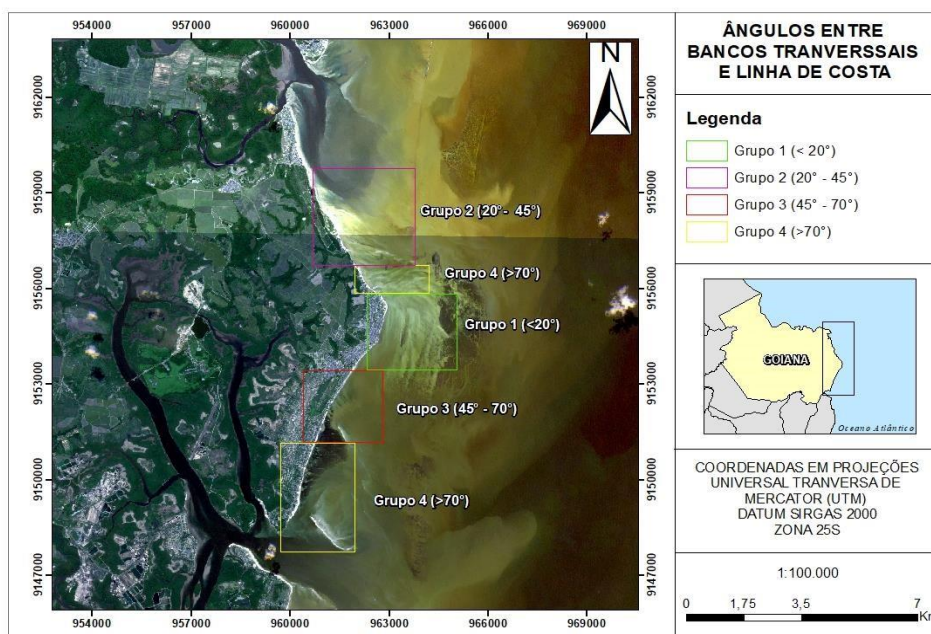


Figura 2 Classificação dos diferentes ângulos formados entre os bancos transversais e a linha de costa na área de estudo. O grupo 1 (retângulo verde) representa ângulos menores que 20° ; o grupo 2 (retângulo roxo), de 20 a 45° ; o grupo 3 (retângulo vermelho), de 45 a 70° ; e o grupo 4 (retângulos amarelos), maiores que 70° .

A evolução da linha de costa e das barras transversais, observada no *Google Engine*, evidenciou que há uma migração dos sedimentos dos bancos transversais no sentido do continente causando acreção de sedimentos, principalmente nos setores B e C. Sendo assim, a dinâmica sedimentar mostra trocas entre os bancos transversais e as praias, corroborando com o estudo de Gelfenbaum & Brooks (2003).

5. Conclusões

As análises dos dados, possibilitaram compreender que houve predominantemente erosão nos setores A e B, enquanto apenas no setor C predominou acreção. Isso se deve ao fato de que as ondas e o transporte longitudinal retiraram e transportaram sedimentos para norte em direção ao setor C. Os calcários submersos do setor B contribuíram para diminuir a energia das ondas e a velocidade do transporte longitudinal e os sedimentos ficaram retidos nas contenções perpendiculares a linha de costa do setor C. Quando se analisou os 3 setores conjuntamente o percentual de linha de costa em erosão foi de 53,5% e de acreção/estabilidade 46,5%.

Esse fato demonstra um certo equilíbrio na região, ou seja, os sedimentos estão circulando dentro da área estudada, de um setor para o outro. Além das trocas de sedimentos que ocorrem com as barras transversais favorecendo a acreção. Os resultados com análise de imagens multitemporais indicaram que há troca de sedimentos entre os bancos transversais e a praia, fator este que corroboram com os dados de erosão e acreção.

A maior variabilidade da linha de costa (envelope de variação) no período de 2007 a 2017 ocorreu no setor C próximo a desembocadura fluvial do rio Goiana e menor no setor A próximo a foz do rio Itapessoca. No setor B, os valores foram intermediários.

Os dados e a análise apresentados nesse trabalho são fundamentais para a gestão de zonas costeiras e servem de subsídios ao planejamento ambiental.

6. Perspectivas

A importância da quantificação da variação da linha de costa para os estudos ambientais tem crescido bastante nas últimas décadas. O aquecimento climático global e o aumento do nível do mar previstos pelo IPCC (2007) afetarão diretamente a população que reside e depende da região costeira para sobreviver. Portanto, é necessário conhecer como cada linha de costa se comportou nos últimos anos para poder compreender como funciona a dinâmica sedimentar atual e realizar previsões para o futuro. Espera-se que dados como de taxas de variação da linha de costa e comportamento da linha de costa sejam cada vez mais disponibilizados e utilizados pelos órgãos competentes de gestão costeira.

7. Referências bibliográficas

BIRD, E. Coastal geomorphology: an introduction. New York: John Wiley & Sons; 2008. p. 436

BITTENCOURT A.C.S.P., MARTIN L., DOMINGUEZ J.M.L., FERREIRA Y.A. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do Estado de Sergipe e da costa sul do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geociências**, v.13, p. 93-97, 1983.

CROWELL, M.; LEATHERMAN, S. P. Shoreline Change Rate Analysis: Long Term Versus Short Term Data, **Shore and Beach**, p.13–20, 1993.

DAL CIN, R.; SIMEONI, U. 1994. A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy). Journal of Coastal Research, Florida, 10(1): 18-29.

DOMINGUEZ J.M.L., BITTENCOURT A.C.S.P. Regional assessment of long-term trends of coastal erosion in northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.68, p. 355-371, 1996.

DEWIDAR, K.; Changes in the Shoreline Position Caused by Natural Processes for Coastline of Marsa Alam and Hamata, Red Sea, Egypt. New Damietta City, Egypt: **International Journal of Geosciences**, v.2, p. 523-529, 2011.

Diretoria de Hidrografia e Navegação. Tábuas de Maré – 2007, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015. [Http:// www.ondas.cptec.inpe.br](http://www.ondas.cptec.inpe.br). Acesso em 2 de junho de 2020.

GELFENBAUM, G.; BROOKS, G, R. The morphology and migration of transverse bars o; the west-central Florida coast. **Marine Geology. v. 200, p. 273-289, 2003.**

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F; GENNADII, D.; ARNINKHOF, S. The state of the word´s beaches. **Scientific Reports-Nature**. v. 8, n 6641, p. 1-1, 2018.

MARINO, M.T.R.D.; FREIRE, G.S.S.F. Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**. v. 13, p. 113-129, 2013.

MAZZER, A. & DILLENBURG, S. Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). **Instituto de Geociências**. V. 36, p.117 – 135, 2009.

MUEHE, D. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. DF, p. 476, 2006.

NIEDORODA, A.W.; TANNER, W.F. Preliminary study of transverse bars. **Marine Geology. v. 9, p. 41-62.**

OLIVEIRA, M.B. Caracterização integrada da linha de costa do Estado de Sergipe – Brasil. MS Dissertação, **Instituto de Geociências**, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 102 p. 2003.

SANÓ, M.; JIMENÉZ, J.A.; MEDINA, R.; STANICA, A.; SANCHEZ-ARCILLA, A.; TRUMBIC, I. The role of coastal setbacks in the context of coastal erosion and climate change. **Ocean & Coastal Management. V. 54, p. 943-950, 2011.**

THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L; ERGUL, A. (2009). The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – Na ArcGIS extension for calculating shoreline change. **US Geological Survey Report. P.79, 2008.**

8. Outras atividades

8.1 Participação em eventos científicos

-29º ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (EIC 2018-2019) – período 06/11/2020

-28º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE - 28º SGNE – período: 11 a 15 de novembro de 2019

-ATUAIS PERSPECTIVAS DOS ESTUDOS DE GEOMORFOLOGIA COSTEIRA E DA LINHA DE COSTA – evento *online* - 26 de maio de 2020, 16 as 17h.

8.2 Elaboração e publicação de resumos em eventos científicos

XVII CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO,

Título do trabalho: Influência das barras transversais à praia na variação da linha de costa no litoral de Goiana-PE **Período:** 20 a 26 de julho de 2019

Local: Viçosa-MG

29º ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (EIC 2018-2019)

Título do trabalho: Variação da linha de costa entre as desembocaduras dos Rios Sergipe e Japaratuba, Sergipe

Período: 06 de novembro de 2019

Local: São Cristóvão-SE

28º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE - 28º SGNE

Título do trabalho 1: Caracterização granulométrica dos sedimentos das barras transversais e da praia de Ponta de Pedras-PE

Título do trabalho 2: Comportamento da linha de costa no município de Goiana, litoral norte de Pernambuco

Título do trabalho 3: Comportamento da linha de costa entre as desembocaduras dos rios Sergipe e Japaratuba, município de Barra dos Coqueiros, Sergipe

Período: 11 a 15 de novembro de 2019
Local: Aracaju, SE

8.3 Participação em cursos

Curso: Redação Científica
Evento do curso: 29º Encontro de Iniciação Científica (EIC 2018-2019)
Período: 06/11/ 2019
Carga horária: 4 horas
Local: São Cristóvão, SE

Curso: Drone para mapeamento geológico
Evento do curso: 28º Simpósio de Geologia do Nordeste
Período: 09 e 10/11/2019
Carga horária: 12 horas
Local: Aracaju, SE

Curso: Anotação de Responsabilidade Técnica (ART)
Instituição: CREAjr-SE
Período: 07/12/2019
Carga horária: 2 horas
Local: Aracaju, SE

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à COPES/UFS, ao CNPq pela bolsa de doutorado, ao LAPA/PGAB pela disponibilização de uso da licença do Arc Gis 10.2 e ao MMA pela disponibilização de imagens *RapidEye*.